Journal of Horticultural Science
Vol. 34, No.1, Spring 2020, P. 119-130
ISSN: 2008 - 4730

نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹، ص. ۱۳۰-۱۱۹
شاپا: ۴۷۳۰ - ۲۰۰۸

مقاله علمی-پژوهشی

تأثیر شکل نیتروژن بر ترکیب شیمیایی و عملکرد ارقام کاهو (*Lactuca sativa* L.) در کشت بدون خاک

عاطفه بیگی هرچگانی[1]- شهرام کیانی[2]*- علیرضا حسین‌پور[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۱۳

چکیده

شکل نیتروژن (نیترات و آمونیوم) محلول غذایی مورد استفاده در کشت‌های بدون خاک بر رشد و ترکیب شیمیایی کاهو مؤثر است. از طرف دیگر ارقام مختلف کاهو پاسخ‌های متفاوتی نسبت به شکل نیتروژن محلول غذایی نشان می‌دهند. این پژوهش به منظور بررسی تأثیر شکل نیتروژن بر ترکیب شیمیایی و عملکرد ارقام کاهوی رومین به صورت کشت بدون خاک انجام شد. این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو عامل نسبت آمونیوم به نیترات و نوع رقم در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد روی گیاه کاهو انجام شد. نسبت آمونیوم به نیترات محلول غذایی شامل ۵ سطح ۰:۱۰۰، ۱۵:۸۵ با و بدون بازدارنده نیترات‌سازی DMPP و ۳۰:۷۰ با و بدون بازدارنده نیترات‌سازی DMPP بود. ارقام کاهوی مورد استفاده نیز شامل دو رقم ترسا[4] و کالیفرنیا[5] بودند. نتایج نشان داد کاربرد ۳۰ درصد کل نیتروژن محلول غذایی به صورت آمونیوم منجر به افزایش معنی دار غلظت فسفر بخش هوایی در رقم کالیفرنیا (به میزان ۴۰ درصد)، کاهش معنی‌دار غلظت پتاسیم بخش هوایی (به میزان ۲۷/۳ و ۱۴/۸ درصد به ترتیب در ارقام ترسا و کالیفرنیا) و کلسیم بخش هوایی (به میزان ۴۲/۰ و ۳۱/۱ درصد به ترتیب در ارقام ترسا و کالیفرنیا) در مقایسه با عدم کاربرد آمونیوم شد. بیشترین وزن تر بخش هوایی کاهو در رقم ترسا (۳۳۴ گرم بر گلدان) با کاربرد نسبت ۰:۱۰۰ آمونیوم به نیترات و در رقم کالیفرنیا (۴۳۵ گرم بر گلدان) با کاربرد نسبت ۱۵:۸۵ آمونیوم به نیترات حاصل شد. کاربرد بازدارنده نیترات‌سازی DMPP تأثیر معنی‌داری بر وزن تر و خشک بخش هوایی و غلظت فسفر، پتاسیم و مس بخش هوایی هر دو رقم کاهو در نسبت‌های ۱۵:۸۵ و ۳۰:۷۰ آمونیوم به نیترات در مقایسه با عدم کاربرد نداشت. برمبنای نتایج این پژوهش کاربرد نسبت‌های ۰:۱۰۰ و ۱۵:۸۵ آمونیوم به نیترات به‌ترتیب در ارقام ترسا و کالیفرنیا برای تولید در شرایط مشابه این پژوهش قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی: ارقام کاهو، عناصر غذایی، نسبت آمونیوم به نیترات

مقدمه

نیترات و آمونیوم دو شکل عمده جذب نیتروژن توسط گیاهان هستند (۲۰). با این وجود تأثیر آنها بر فرآیندهای فیزیولوژیکی و متابولیکی گیاهان به طور کلی متفاوت بوده به طوری که این امر بر توسعه گیاه تأثیرگذار است (۱۳). اکثر گیاهان می‌توانند از آمونیوم، نیترات و یا هر دوی آنها استفاده کنند، اما اثربخشی شکل نیتروژن به مرحله رشدی گیاه، نوع گونه گیاهی (۱۱)، دما و pH محلول غذایی (۳۴)، نسبت آمونیوم به نیترات محلول غذایی (۲۷) و مقدار کل نیتروژن (۱۹) بستگی دارد.

کاهو (*Lactuca sativa* L.) از جمله محصولاتی است که پرورش آن به روش هیدروپونیک در بسیاری از گلخانه‌های تجاری دنیا انجام می‌شود. تاکنون پژوهش‌های متعددی درخصوص پاسخ این گیاه نسبت به شکل نیتروژن محلول غذایی در کشت‌های بدون خاک انجام شده است (۱، ۴، ۱۹، ۲۷ و ۳۱). پژوهش‌های انجام شده در این زمینه حاکی است کاربرد تمام نیتروژن مورد نیاز این گیاه به صورت آمونیوم منجر به کاهش رشد آن در مقایسه با کاربرد نیترات به تنهایی شده است. در همین زمینه عبدالمنعم و همکاران (۱) واکنش کاهو در سامانه کشت بدون خاک را نسبت به ۴ منبع نیتروژن (نیترات پتاسیم، نیترات کلسیم، سولفات آمونیوم و اوره) مورد بررسی قرار دادند. آنها گزارش کردند کمترین وزن تر کاهو با کاربرد نیتروژن به شکل آمونیوم حاصل شد. همچنین باقری و روستا (۴) عنوان کردند کاربرد

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، دانشیار و استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
(*- نویسنده مسئول: Email: shkiani2002@yahoo.com)
DOI: 10.22067/jhorts4.v34i1.80949
4- Teresa
5- California

کل نیتروژن محلول غذایی به شکل آمونیوم (۵ میلی‌مولار) موجب کاهش وزن تر و خشک بخش هوایی و ریشه کاهو در مقایسه با کاربرد نیترات به تنهایی گردید. اما پژوهش‌های انجام شده در مورد تأثیر شکل نیتروژن بر رشد کاهو در کشت بدون خاک حاکی از افزایش رشد گیاه در صورت تامین نیتروژن مورد نیاز این گیاه به صورت کاربرد همزمان آمونیوم و نیترات است. نسبت مطلوب آمونیوم به نیترات محلول غذایی برای پرورش کاهو به عوامل متعددی از قبیل شرایط اقلیمی، رقم کاهو و مقدار کل نیتروژن محلول غذایی بستگی دارد. وانگ و شن (۳۱) در بررسی پاسخ پنج رقم کاهو نسبت به نسبت‌های مختلف آمونیوم به نیترات محلول غذایی عنوان کردند بیشترین وزن خشک ریشه و بخش هوایی کاهو با کاربرد نسبت ۲۵ به ۷۵ آمونیوم به نیترات حاصل شد. ساواس و همکاران (۲۷) در بررسی تأثیر شکل نیتروژن بر رشد کاهو در شرایط هیدروپونیک گزارش نمودند بیشترین وزن تر و خشک گیاه با کاربرد ۳۰ درصد نیتروژن مصرفی به شکل آمونیوم حاصل شد. در این پژوهش بهبود رشد گیاه با افزایش نسبت آمونیوم به نیتروژن کل به جذب بهتر فسفر و کنترل بهتر pH محلول غذایی نسبت داده شد. مهلانگو و همکاران (۱۹) گزارش کردند کاربرد ۱۰۰ تا ۱۲۰ میلی‌گرم نیتروژن از منبع نیترات آمونیوم (نسبت آمونیوم به نیترات ۵۰:۵۰) می‌تواند منجر به افزایش رشد، عملکرد و شاخصهای کیفی کاهو در سامانه غیرچرخشی در طول فصل زمستان شود. با این وجود وانگ و شن (۳۱) گزارش کردند کاربرد ۵۰ درصد نیتروژن کل محلول غذایی به شکل آمونیوم منجر به کاهش وزن خشک ریشه و بخش هوایی ارقام کاهو در سامانه کشت بدون خاک شد.

تأثیر تغذیه آمونیوم بر ترکیب شیمیایی گیاه از نیترات متفاوت است. با کاربرد آمونیوم، جذب آنیونها نسبت به کاتیون‌ها افزایش یافته و بنابراین پروتون از ریشه برای موازنه بار آزاد می‌شود که این رهاسازی پروتون منجر به اسیدی شدن محیط ریشه و افزایش فراهمی عناصری از قبیل فسفر، آهن، منگنز، روی و مس می‌شود (۲۰). تأثیر مثبت تغذیه آمونیوم بر افزایش غلظت فسفر بخش هوایی در کاهو (۲۴) و مرکبات (۲۹) گزارش شده است. همچنین کاربرد آمونیوم منجر به افزایش غلظت آهن، منگنز، روی و مس در گل رز (۱۶) و آزالیا (۸)، آهن در کاهو (۲۴)، آهن و مس در مرکبات (۲۹) شده است. با این وجود کاربرد آمونیوم منجر به کاهش غلظت عناصر پتاسیم، کلسیم و منیزیم در گیاه نیز شده است. کاهش میزان پتاسیم گیاه در نتیجه کاربرد آمونیوم در کاهو (۴، ۲۴)، اسفناج (۲۱)، مرکبات (۲۹)، صنوبر (۲۶) و پیاز (۱۵) نیز گزارش شده است. دیگر پژوهش های انجام شده نیز حاکی از کاهش غلظت کلسیم در نتیجه تغذیه آمونیومی در اسفناج (۲۱)، مرکبات (۲۹) و توت فرنگی (۳۰) است.

کاربرد بازدارنده‌های نیترات‌سازی با کودهای آمونیومی منجر به افزایش کارایی مصرف نیتروژن شده و علاوه بر آن منجر به کاهش هدررفت نیتروژن از طریق نیترات‌زدایی و آبشویی می‌شود (۳۶). بازدارنده‌های نیترات‌سازی ترکیباتی هستند که اکسایش زیستی یون آمونیوم به نیتریت را به‌واسطه کاهش فعالیت باکتری نیتروزموناس به تأخیر می‌اندازند (۲۲). یکی از بازدارنده‌های نیترات‌سازی که در سال های اخیر وارد بازار شده است ۳ و ۴- دی متیل پیرازول فسفات (DMPP) است. استفاده از DMPP همراه با کودهای نیتروژنه توانسته است عملکرد محصولات کشاورزی را در کشت‌های خاکی بهبود بخشد (۳۶).

کاهو از جمله سبزی‌های برگی است که کشت آن به روش هیدروپونیک در بسیاری از نقاط دنیا صورت می‌گیرد. این گیاه پاسخ خوبی به تغذیه آمونیومی داده است اما نسبت مطلوب آمونیوم به نیترات محلول غذایی بسته به شرایط انجام آزمایش متفاوت بوده است. بنابراین، برای تعیین نسبت مناسب آمونیوم به نیترات محلول غذایی برای پرورش کاهو بایستی آزمایش‌های هیدروپونیک مطابق با شرایط تولیدکنندگان این محصول صورت گیرد تا نتایج حاصله از دقت خوبی برخوردار باشند. از طرف دیگر اطلاعات کمی راجع به چگونگی پاسخ ارقام مختلف کاهو نسبت به شکل نیتروژن محلول غذایی وجود دارد. بنابراین با توجه به موارد فوق تحقیق حاضر سعی دارد تأثیر نسبت‌های مختلف آمونیوم به نیترات و نوع رقم کاهو را بر عملکرد و ترکیب شیمیایی این گیاه در کشت بدون خاک در شرایط گلخانه‌ای در شهرکرد مورد بررسی قرار دهد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو عامل نسبت آمونیوم به نیترات محلول غذایی و نوع رقم در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد در سال ۱۳۹۳ روی گیاه کاهوی رومین به صورت کشت بدون خاک انجام شد. نسبت آمونیوم به نیترات محلول غذایی شامل ۵ سطح ۰:۱۰۰، ۱۵:۸۵ با و بدون بازدارنده نیترات‌سازی DMPP و ۳۰:۷۰ با و بدون بازدارنده نیترات‌سازی DMPP بود. با توجه به پاسخ متفاوت ارقام مختلف کاهو نسبت به شکل نیتروژن محلول غذایی (۳۱) از یک رقم کاهوی برگ صاف (رقم ترسا) و یک رقم برگ چروک (رقم کالیفرنیا) استفاده شد. برای تامین بازدارنده نیترات‌سازی DMPP از کود انتک سالوب ۲۱[1] (حاوی ۲۱ درصد نیتروژن به صورت آمونیوم، ۶۰ درصد اکسید گوگرد و ۰/۸ درصد بازدارنده نیترات‌سازی DMPP) استفاده شد. مقدار مصرف بازدارنده نیترات‌سازی DMPP در تیمارهای حاوی بازدارنده برابر با ۲ میلی‌گرم بر لیتر بود (۲۳).

برای تهیه محلول غذایی از آب شرب دانشگاه شهرکرد استفاده

1- ENTEC Solub 21

شد. بدین منظور ابتدا pH، قابلیت هدایت الکتریکی و غلظت سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، نیترات و کلر آن با استفاده از روش‌های معمول اندازه‌گیری شد (۲). برای تهیه محلول غذایی از فرمولاسیون پیشنهادی دکرای و همکاران (۹) استفاده شد. در این فرمولاسیون غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و گوگرد در محلول غذایی به ترتیب برابر با ۱۹/۰، ۲/۰، ۱۱/۰، ۴/۵، ۱/۰ و ۱/۲ میلی مولار بود. همچنین غلظت عناصر غذایی کم‌مصرف برای مس، بور، آهن، منگنز، روی و مولیبدن به ترتیب برابر ۰/۷۵، ۳۰، ۴۰، ۵/۰، ۴/۰ و ۰/۵ میکرومولار بود (۹). با لحاظ کردن غلظت عناصر غذایی موجود در آب شهری (جدول ۱)، محاسبات لازم برای حصول به غلظت‌های مورد نظر در محلول‌های غذایی مورد استفاده انجام شد. قابلیت هدایت الکتریکی محلول‌های غذایی تهیه شده بین ۲/۵ تا ۳/۲ دسی زیمنس بر متر بود. همچنین pH محلول‌های غذایی با استفاده از محلول یک مولار اسید سولفوریک روی ۰/۲±۵/۴ تنظیم گردید (۹).

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های شیمیایی آب مورد استفاده برای تهیه محلول غذایی

Table 1- Some chemical properties of used water for preparation of nutrient solution

قابلیت هدایت الکتریکی EC ($dS\ m^{-1}$)	پ.هاش pH	سدیم Na^+	پتاسیم K^+	کلسیم Ca^{2+}	منیزیم Mg^{2+}	نیترات NO_3^-	کلر Cl^-
		($mmol\ l^{-1}$)					
0.45	7.6	0.2	0.1	1.5	0.8	0.23	1.3

به منظور اجرای آزمایش بذرهای کاهو پس از ضدعفونی توسط محلول هیپوکلریت سدیم ۱ درصد در سینی کشت نشا حاوی کوکوپیت و پرلیت کشت شدند. در مرحله دو تا سه برگی نشاهای کاهو به گلدان‌های پلاستیکی ۱/۷ لیتری حاوی کوکوپیت و پرلیت به نسبت حجمی ۷۰ به ۳۰ منتقل شدند. برای هر پلات آزمایشی ۲ گلدان در نظر گرفته شده و در داخل هر گلدان یک بوته کشت شد. پس از انتقال نشاهای کاهو به گلدان‌ها از محلول غذایی یک چهارم قدرت استفاده شد که به تدریج و با افزایش رشد گیاه از محلول تمام قدرت استفاده شد. محلول غذایی بسته به نیاز گیاه، روزانه یک مرتبه به صورت دستی به گیاهان داده شد. نوع سامانه هیدروپونیک مورد استفاده در این تحقیق از نوع باز بود و کسر آبشویی بسته به مرحله رشدی گیاه بین ۵ تا ۲۰ درصد درنظر گرفته شد تا از تجمع نمک‌ها در بستر جلوگیری شود (۳). سپس مراقبت‌های زراعی معمول در حین دوره داشت در گلخانه تا زمان برداشت صورت گرفت. پس از گذشت ۷ هفته از انتقال نشای کاهو و به دلیل رشد مطلوب گیاهان، بوته‌ها برداشت شده و قسمت هوایی و ریشه گیاه از یکدیگر جدا شدند. وزن تر بخش هوایی و ریشه در هر پلات توسط ترازوی رقومی اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها پس از شستشو توسط آب معمولی و آب مقطر به مدت ۷۲ ساعت در آون در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد قرار داده شده و دوباره توزین شدند. به دنبال آن نمونه‌ها برای اندازه‌گیری‌های شیمیایی با استفاده از آسیاب برقی خرد شدند. غلظت فسفر در نمونه‌های گیاهی پس از تهیه عصاره به روش خاکستر خشک و ترکیب با اسید کلریدریک به روش فسفووانادات مولیبدات زرد با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۷۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. در عصاره حاصله پتاسیم با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر، کلسیم و منیزیم به روش تیتراسیون با EDTA و آهن، منگنز، روی و مس با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شدند (۱۰). نتایج حاصله توسط نرم افزار آماری SAS نسخه ۹ تجزیه شده و برای مقایسه و دسته‌بندی میانگین‌ها از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

تأثیر تیمارهای آزمایشی بر وزن تر و خشک ریشه کاهو

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر نسبت آمونیوم به نیترات بر وزن تر ریشه کاهو در سطح ۵ درصد آماری معنی‌دار شد. در حالی که تأثیر نسبت آمونیوم به نیترات، رقم کاهو و برهمکنش آن‌ها بر وزن خشک ریشه معنی‌دار نشد (جدول ۲). کاربرد نسبت ۳۰:۷۰ آمونیوم به نیترات منجر به کاهش معنی‌دار وزن تر ریشه در مقایسه با تیمار بدون آمونیوم و نسبت ۱۵:۸۵ آمونیوم به نیترات شد. کاربرد بازدارنده DMPP در هر دو نسبت ۱۵:۸۵ و ۳۰:۷۰ آمونیوم به نیترات تأثیر معنی‌داری در مقایسه با کاربرد این نسبت‌ها بدون DMPP بر وزن تر ریشه ایجاد نکرد (شکل ۱).

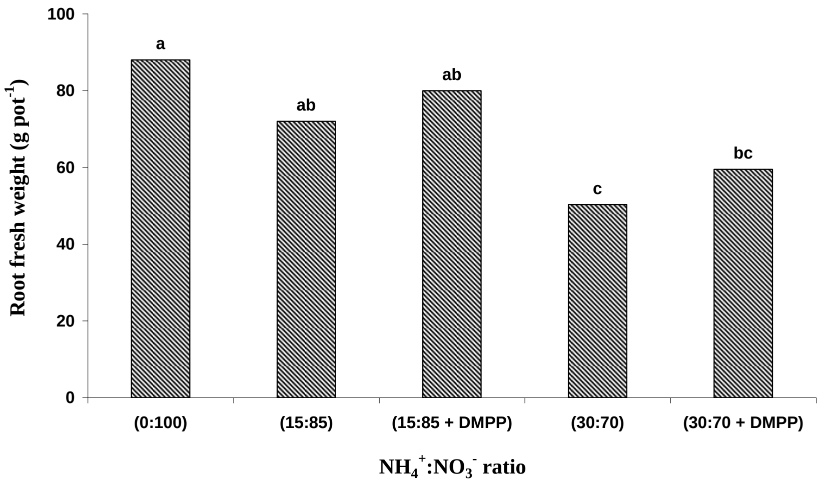
تأثیر تیمارهای آزمایشی بر وزن تر و خشک بخش هوایی کاهو

نتایج تجزیه واریانس نشان داد تأثیر نسبت آمونیوم به نیترات محلول غذایی، رقم کاهو و برهمکنش آن‌ها با همدیگر بر وزن تر بخش هوایی در سطح ۱ درصد آماری معنی‌دار بود (جدول ۲). در رقم ترسا کاربرد نسبت ۳۰:۷۰ آمونیوم به نیترات محلول غذایی منجر به کاهش معنی‌دار وزن تر بخش هوایی در مقایسه با محلول بدون آمونیوم شد.

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) نسبت آمونیوم به نیترات محلول غذایی و نوع رقم بر وزن تر و خشک ریشه و بخش هوایی کاهو
Table 2- Variance analysis (mean square) of NH_4^+:NO_3^- ratio of nutrient solution and cultivar type on shoot and root fresh and dry weight of lettuce

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	وزن تر ریشه Root fresh weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	وزن تر بخش هوایی Shoot fresh weight	وزن خشک بخش هوایی Shoot dry weight
نسبت آمونیوم به نیترات NH_4^+:NO_3^- ratio	4	1387.5*	5.2ns	6018.8**	6.6ns
رقم کاهو Lettuce cultivar	1	1116.3ns	9.6ns	142416.3**	288.6**
نسبت آمونیوم به نیترات × رقم کاهو NH_4^+:NO_3^- ratio × Lettuce cultivar	4	480.4ns	1.5ns	8961.8**	26.6**
خطا Error	20	315.9	2.7	1007.3	4.2

ns غیر معنی‌دار، * معنی‌دار در سطح ۵ درصد، ** معنی‌دار در سطح ۱ درصد
ns Non significant, * significant at 5%, ** significant at 1%



شکل ۱- تأثیر نسبت‌های مختلف آمونیوم به نیترات محلول غذایی بر وزن تر ریشه کاهو
Figure 1- The effect of different NH_4^+:NO_3^- ratios of nutrient solution on root fresh weight of lettuce (LSD, *p≤0.05*).

اما در رقم کالیفرنیا کاربرد نسبت ۱۵:۸۵ آمونیوم به نیترات محلول غذایی منجر به افزایش معنی‌دار وزن تر بخش هوایی در مقایسه با تیمار بدون آمونیوم و محلول غذایی دارای نسبت ۳۰:۷۰ آمونیوم به نیترات شد (جدول ۳). بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر رقم کاهو و برهمکنش نسبت آمونیوم به نیترات با رقم کاهو بر وزن خشک بخش هوایی در سطح ۱ درصد آماری معنی‌دار بود (جدول۲). در رقم ترسا کاربرد نسبت ۱۵:۸۵ آمونیوم به نیترات محلول غذایی منجر به کاهش معنی‌دار وزن خشک بخش هوایی در مقایسه با محلول بدون آمونیوم و محلول غذایی دارای نسبت ۳۰:۷۰ آمونیوم به نیترات شد. اما در رقم کالیفرنیا کاربرد نسبت‌های ۱۵:۸۵ و ۳۰:۷۰ آمونیوم به نیترات محلول غذایی تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک بخش هوایی در مقایسه با تیمار بدون آمونیوم نداشت. این مسئله نشان‌دهنده واکنش متفاوت ارقام کاهو نسبت به کاربرد آمونیوم در محلول غذایی بود. در هر دو رقم کاهو، کاربرد بازدارنده در هر دو نسبت ۱۵:۸۵ و ۳۰:۷۰ آمونیوم به نیترات تأثیر معنی‌داری بر وزن تر و خشک بخش هوایی در مقایسه با کاربرد این دو نسبت بدون بازدارنده ایجاد نکرد (جدول ۳).

جدول ۳- تأثیر نسبت‌های مختلف آمونیوم به نیترات محلول غذایی بر وزن تر و خشک بخش هوایی ارقام کاهو

Table 3- The effect of different NH_4^+:NO_3^- ratios of nutrient solution on shoot fresh and dry weight of lettuce cultivars

نسبت آمونیوم به نیترات NH_4^+:NO_3^- ratio	0:100	15:85	15:85+DMPP	30:70	30:70+DMPP
رقم کاهو Lettuce cultivar	وزن تر بخش هوایی Shoot fresh weight (g pot^{-1})				
ترسا (Teresa)	334^{c}	208^{d}	219^{d}	229^{d}	222^{d}
کالیفرنیا (California)	373^{bc}	435^{a}	423^{ab}	346^{c}	324^{c}
	وزن خشک بخش هوایی Shoot dry weight (g pot^{-1})				
ترسا (Teresa)	17.1^{bcd}	10.5^{f}	11.3^{ef}	14.5^{de}	15.4^{cd}
کالیفرنیا (California)	20.2^{ab}	21.5^{a}	21.8^{a}	18.7^{abc}	17.6^{bcd}

میانگین‌ها در هر ستون و ردیف با حروف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد با استفاده از آزمون LSD هستند.

Data in each column and row with the same letter are not statistically different at α =0.05 based on LSD Test.

بر مبنای نتایج به دست آمده در این پژوهش کاربرد آمونیوم به میزان ۱۵ درصد کل نیتروژن کاربردی منجر به کاهش معنی‌دار وزن تر و خشک بخش هوایی در مقایسه با عدم کاربرد آن در رقم ترسا گردید. همچنین در رقم کالیفرنیا کاربرد ۳۰ درصد کل نیتروژن محلول غذایی به صورت آمونیوم منجر به کاهش وزن تر بخش هوایی کاهو در مقایسه با نسبت ۱۵:۸۵ آمونیوم به نیترات شد. این کاهش ممکن است به دلیل اسیدی شدن ریزوسفر در نتیجه تغذیه آمونیومی، مسمومیت آمونیوم آسیمیله نشده (۶) و کاهش کربوهیدراتهای محلول گیاه در آسیمیلاسیون آمونیوم جذب شده (۲۵) باشد. موقعی که جذب آمونیوم از میزان جذب و ساخت آن تجاوز کند تجمع آمونیوم آزاد در بافت گیاهی رخ می‌دهد. تجمع آمونیوم آسیمیله نشده و انتقال آن به برگ‌ها می‌تواند بسیاری از فرایندهای متابولیکی از قبیل فتوسنتز را مختل کرده و نهایتاً منجر به کاهش رشد گیاه شود (۲۰). تحقیقات باقری و روستا (۴) نشان داد وزن تر و خشک بخش هوایی و ریشه کاهو در گیاهانی که از آمونیوم به عنوان تنها منبع نیتروژن استفاده شده بود به طور معنی‌داری کاهش یافت. پژوهش روستا (۲۴) نشان داد وزن تر و خشک ریشه و بخش هوایی در هر دو گیاه اسفناج و کاهو با تغذیه آمونیوم نسبت به نیترات کاهش یافت. بهبهانی مطلق و همکاران (۵) نشان دادند افزایش آمونیوم محلول غذایی باعث کاهش رشد شاخسار زیتون شد.

براساس نتایج این پژوهش بیشترین وزن تر بخش هوایی در رقم کالیفرنیا با کاربرد ۱۵ درصد نیتروژن به صورت آمونیوم حاصل شد. این افزایش را می‌توان به جذب و ساخت (آسیمیلاسیون) سریع یونهای آمونیوم در مقایسه با نیترات به دلیل مصرف کمتر انرژی توسط گیاه نسبت داد (۲۶). به طوری که جذب و ساخت یک مول نیترات به ۲۰ مول ATP نیاز دارد در حالی که این مقدار برای آمونیوم تنها ۵ مول ATP است بنابراین این ذخیره انرژی که تا ۱۷ درصد کل ذخایر کربوهیدرات گیاه گزارش شده منجر به افزایش ماده خشک تولیدی و به تبع آن عملکرد برای گیاهانی می‌شود که بخشی از نیتروژن مصرفی آنها به شکل آمونیوم بوده است. از طرف دیگر کاربرد آمونیوم جذب نیترات را از طریق انتقال همزمان پروتون/نیترات تسهیل می‌کند (۲۰) که این امر با بهبود جذب نیتروژن و افزایش غلظت سیتوکنین در گیاه منجر به بهبود رشد گیاه می‌شود (۱۲، ۳۲). افزایش عملکرد کاهو با کاربرد نسبت آمونیوم به نیترات ۲۵ به ۷۵ در پژوهش وانگ و شن (۳۱) نیز مشاهده شده است که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. این امر نشان‌دهنده آنست که کاربرد توام آمونیوم و نیترات بهترین راه برای افزایش رشد کاهو است.

بر مبنای نتایج این پژوهش بیشترین وزن تر و خشک بخش هوایی کاهو در رقم ترسا با کاربرد ۱۰۰ درصد نیتروژن به شکل نیترات و در رقم کالیفرنیا با کاربرد ۸۵ درصد به شکل نیترات و ۱۵ درصد به شکل آمونیوم مشاهده شد. پاسخ متفاوت واریته‌های گیاهی نسبت به شکل نیتروژن در پژوهش‌های انجام شده (۱۴، ۲۸) نیز مشاهده شده است که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. این مسئله به تفاوت ژنتیکی بین ارقام گیاهی در توانایی تامین اسکلتهای کربنی برای آسیمیلاسیون آمونیوم در ریشه‌ها نیز مربوط است (۲۸). در همین زمینه چن و همکاران (۷) نیز پاسخ متفاوت ارقام کلم چینی را نسبت به سطوح متفاوت آمونیوم به نیترات محلول غذایی گزارش کردند. به طوری که نسبت بهینه آمونیوم به نیترات برای رشد ۲۵ به ۷۵ بود و زیست توده رقم Shq بیشتر از Lby1 بود. همچنین وانگ و شن (۳۱) در آزمایشی پاسخ پنج رقم کاهو را نسبت به نسبت‌های مختلف آمونیوم به نیترات محلول غذایی مورد بررسی قرار دادند. آنها عنوان کردند که بر مبنای افزایش زیست توده بخش هوایی و ریشه گیاه ارقام SX1 و Nrnct به ترتیب بیشترین و کمترین پاسخ را نسبت به جایگزینی بخشی از نیترات محلول غذایی با آمونیوم داده‌اند.

تأثیر تیمارهای آزمایشی بر غلظت عناصر غذایی بخش هوایی ارقام کاهو

عناصر غذایی پرمصرف: نتایج تجزیه واریانس نشان داد تأثیر نسبت آمونیوم به نیترات، رقم کاهو و برهمکنش آن‌ها بر غلظت فسفر بخش هوایی در سطح ۱ درصد آماری معنی‌دار شد (جدول ۴). بر اساس نتایج حاصله در رقم ترسا کاربرد ۱۵ درصد کل نیتروژن محلول غذایی به صورت آمونیوم منجر به افزایش معنی‌دار غلظت فسفر نسبت به تیمار بدون آمونیوم و نسبت ۳۰:۷۰ آمونیوم به نیترات محلول غذایی شد. در رقم کالیفرنیا کاربرد نسبت‌های ۱۵:۸۵ و ۳۰:۷۰ آمونیوم به نیترات محلول غذایی منجر به افزایش معنی‌دار غلظت فسفر بخش هوایی نسبت به محلول غذایی بدون آمونیوم شد (جدول ۵). تأثیر مثبت کاربرد آمونیوم بر افزایش میزان فسفر بخش هوایی کاهو را می‌توان به اثر سینرژیسمی کاربرد آمونیوم بر جذب آنیون‌ها برای حفظ موازنه بار الکتریکی در سلول نسبت داد (۲۰). به نظر می‌رسد یون آمونیوم یا آمینواسیدهای حاصله از جذب و ساخت آن در ریشه در انتقال فسفر به قسمتهای هوایی گیاه به عنوان یون مخالف نیز تأثیر دارند (۳۵). روستا (۲۴) گزارش کرد که تغذیه با آمونیوم در مقایسه با نیترات سبب افزایش غلظت فسفر بخش هوایی اسفناج و کاهو شد. همچنین سرنا و همکاران (۲۹) گزارش کردند که با افزایش آمونیوم غلظت فسفر در برگ مرکبات افزایش یافت که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر نسبت آمونیوم به نیترات محلول غذایی و رقم کاهو بر غلظت پتاسیم بخش هوایی در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد ولی برهمکنش آن‌ها در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). در هر دو رقم ترسا و کالیفرنیا کاربرد ۳۰ درصد کل نیتروژن محلول غذایی به صورت آمونیوم منجر به کاهش معنی‌دار غلظت پتاسیم نسبت به تیمار بدون آمونیوم و نسبت ۱۵:۸۵ آمونیوم به نیترات محلول غذایی شد (جدول ۵). باقری و روستا (۴) و روستا (۲۴) گزارش کردند آمونیوم موجب کاهش غلظت پتاسیم بخش هوایی کاهو گردید. وانگ و بلو (۳۳) گزارش کردند که آمونیوم از جذب پتاسیم جلوگیری می‌کند. به نظر می‌رسد، یکی از دلایل کاهش مقدار پتاسیم در این تحقیق رقابت آمونیوم با این عنصر در جذب توسط گیاه باشد. نجفی و همکاران (۲۱) نیز گزارش کردند که با افزایش نسبت آمونیوم به نیترات محلول غذایی، غلظت پتاسیم بخش هوایی اسفناج به طور معنی‌داری کاهش یافت. کاهش غلظت پتاسیم بخش هوایی بر اثر تغذیه با آمونیوم به وسیله سرنا و همکاران در پرتقال (۲۹)، روتستین و کریگ در صنوبر (۲۶) و کن و همکاران در پیاز (۱۵) نیز گزارش شده است که با نتایج این مطالعه مطابقت دارد. همچنین در هر دو رقم ترسا و کالیفرنیا کاربرد بازدارنده DMPP در هر دو نسبت ۱۵:۸۵ و ۳۰:۷۰ آمونیوم به نیترات محلول غذایی تأثیر معنی‌داری بر غلظت فسفر و پتاسیم نسبت به کاربرد این نسبت‌ها بدون بازدارنده نداشت (جدول ۵).

جدول ٤- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تاثیر نسبت آمونیوم به نیترات محلول غذایی و رقم بر غلظت عناصر غذایی بخش هوایی کاهو

Table 4- ANOVA (mean square) for the effects of NH_4^+:NO_3^- ratio of nutrient solution and cultivar on shoot nutrients concentration of lettuce

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	فسفر P	پتاسیم K	کلسیم Ca	منیزیم Mg	آهن Fe	منگنز Mn	روی Zn	مس Cu
نسبت آمونیوم به نیترات NH_4^+:NO_3^- ratio	4	0.7**	124.0**	5.0**	5.9**	10709.2**	2070.7**	735.9**	10.5*
رقم کاهو Lettuce cultivar	1	3.1**	35.9**	2.1*	0.4ns	6020.8**	5306.7**	326.7ns	149.6**
نسبت آمونیوم به نیترات × رقم کاهو NH_4^+:NO_3^- ratio × Lettuce cultivar	4	1.0**	16.6*	1.8*	1.3*	2240.2**	922.6**	691.2**	33.8**
خطا Error	20	0.1	4.4	0.4	0.3	469.9	195.6	108.3	3.6

ns غیر معنی‌دار، * معنی‌دار در سطح ۵ درصد، ** معنی‌دار در سطح ۱ درصد

ns Non significant, * significant at 5%, ** significant at 1%

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر رقم کاهو و برهمکنش نسبت آمونیوم به نیترات با رقم کاهو بر غلظت کلسیم بخش هوایی در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد ولی اثر نسبت آمونیوم به نیترات در سطح ۱ درصد آماری معنی‌دار شد (جدول ۴). بر مبنای نتایج حاصله در هر دو رقم ترسا و کالیفرنیا کاربرد نسبت ۳۰:۷۰ آمونیوم به نیترات محلول غذایی منجر به کاهش معنی‌دار غلظت کلسیم نسبت به تیمار بدون آمونیوم محلول غذایی شد (جدول ۵). نجفی و همکاران (۲۱) نشان دادند کاربرد آمونیوم نسبت به نیترات به تنهایی غلظت کلسیم اسفناج

را به طور میانگین ۴۸ درصد کاهش داد. این کاهش می‌تواند ناشی از برهمکنش منفی میان آمونیوم و کلسیم از نظر جذب یا کاهش انتقال در آوندهای چوبی باشد (۲۰). به نظر کاتسیراس و همکاران (۱۷) بر اثر تغذیه با آمونیوم مقدار زیادی اسیدهای آلی ساخته می‌شود که ممکن است کلسیم و منیزیم را در ریشه‌ها غیرمتحرک نماید. همچنین آمونیوم جذب کلسیم به وسیله ریشه‌ها را کاهش می‌دهد. کاهش غلظت کلسیم بخش هوایی بر اثر تغذیه با آمونیوم توسط سرنا و همکاران در پرتقال (۲۹) و طباطبایی و همکاران در توت فرنگی (۳۰) نیز گزارش شده است که با نتایج این تحقیق همسو است. در رقم ترسا کاربرد بازدارنده DMPP در هر دو نسبت ۱۵:۸۵ و ۳۰:۷۰ آمونیوم به نیترات محلول غذایی تأثیر معنی‌داری بر غلظت کلسیم نسبت به کاربرد این نسبت‌ها بدون بازدارنده نداشت. در حالی که در رقم کالیفرنیا کاربرد بازدارنده DMPP در هر دو نسبت ۱۵:۸۵ و ۳۰:۷۰ آمونیوم به نیترات محلول غذایی منجر به افزایش معنی‌دار غلظت کلسیم نسبت به کاربرد این نسبت‌ها بدون بازدارنده شد (جدول ۵).

جدول ۵- تأثیر نسبت‌های مختلف آمونیوم به نیترات محلول غذایی بر غلظت عناصر غذایی بخش هوایی ارقام کاهو

Table 5- The effect of different NH_4^+:NO_3^- ratios of nutrient solution on shoot nutrients concentration of lettuce cultivars

رقم کاهو Lettuce cultivar	نسبت آمونیوم به نیترات NH_4^+:NO_3^- ratio	فسفر P	پتاسیم K	کلسیم Ca	منیزیم Mg	آهن Fe	منگنز Mn	روی Zn	مس Cu
		(g kg^{-1})				(mg kg^{-1})			
ترسا (Teresa)	0:100	6.1^{bc}	32.6^{ab}	6.9^{a}	3.8^{bc}	107.3^{bc}	47.6^{cd}	59.6^{e}	7.3^{cd}
	15:85	6.9^{a}	32.1^{abc}	4.5^{c}	4.8^{ab}	211.0^{a}	80.0^{b}	92.0^{abc}	10.3^{bc}
	15:85+DMPP	6.4^{ab}	28.7^{cd}	4.8^{bc}	4.6^{ab}	141.6^{b}	119.0^{a}	106.6^{a}	12.3^{ab}
	30:70	6.0^{bc}	23.7^{ef}	4.0^{c}	4.0^{bc}	73.0^{cd}	68.3^{bc}	72.3^{de}	5.6^{de}
	30:70+DMPP	6.0^{bc}	20.9^{f}	4.0^{c}	2.2^{d}	89.6^{cd}	111.3^{a}	105.3^{ab}	3.6^{e}
کالیفرنیا (California)	0:100	4.5^{d}	30.4^{bc}	6.1^{a}	4.6^{ab}	128.0^{b}	40.3^{d}	75.3^{cde}	13.0^{ab}
	15:85	5.5^{c}	32.7^{ab}	4.5^{c}	5.6^{a}	141.3^{b}	61.0^{bcd}	76.6^{cde}	10.6^{b}
	15:85+DMPP	5.6^{c}	35.4^{a}	5.8^{ab}	4.6^{ab}	81.3^{cd}	60.6^{bcd}	74.6^{cde}	11.0^{b}
	30:70	6.3^{ab}	25.9^{de}	4.2^{c}	2.7^{d}	73.3^{cd}	66.6^{bc}	88.3^{bcd}	14.6^{a}
	30:70+DMPP	6.2^{bc}	24.7^{e}	6.1^{a}	3.2^{dc}	57.0^{d}	64.6^{bc}	88.0^{bcd}	12.3^{ab}

میانگین‌ها در هر ستون و ردیف با حروف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار با استفاده از آزمون LSD در سطح ۵ درصد هستند.

Data in each column and row with the same letter are not statistically different at α =0.05 based on LSD Test.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد رقم کاهو بر غلظت منیزیم بخش هوایی اثر معنی‌داری نداشت در حالی‌که تأثیر نسبت آمونیوم به نیترات محلول غذایی در سطح ۱ درصد و برهمکنش آن‌ها در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). در رقم ترسا کاربرد ۳۰ درصد کل نیتروژن محلول غذایی به صورت آمونیوم تأثیر معنی‌داری بر غلظت منیزیم نسبت به تیمار بدون آمونیوم محلول غذایی نداشت. اما در رقم کالیفرنیا استفاده از نسبت ۳۰:۷۰ آمونیوم به نیترات محلول غذایی منجر به کاهش معنی‌دار غلظت منیزیم نسبت به تیمار بدون آمونیوم و نسبت ۱۵:۸۵ آمونیوم به نیترات محلول غذایی شد (جدول ۵). روستا (۲۴) بیان کرد غلظت منیزیم در بخش هوایی اسفناج و کاهو با کاربرد آمونیوم کاهش یافت که دلیل این کاهش اثرات آنتاگونیسمی بین آمونیوم و منیزیم می‌باشد (۲۰). در رقم ترسا کاربرد بازدارنده DMPP در نسبت ۳۰:۷۰ آمونیوم به نیترات محلول غذایی منجر به کاهش معنی‌دار غلظت منیزیم نسبت به کاربرد این نسبت بدون بازدارنده شد. در رقم کالیفرنیا کاربرد بازدارنده DMPP در هر دو نسبت ۱۵:۸۵ و ۳۰:۷۰ آمونیوم به نیترات محلول غذایی اثر معنی‌داری بر غلظت منیزیم نسبت به کاربرد این نسبت‌ها بدون بازدارنده نداشت (جدول ۵).

عناصر غذایی کم‌مصرف: نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد اثر نسبت آمونیوم به نیترات، رقم کاهو و برهمکنش آنها بر غلظت آهن و منگنز بخش هوایی در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). مقایسه میانگین نتایج (جدول ۵) نشان داد که در رقم ترسا کاربرد ۱۵ درصد کل نیتروژن محلول غذایی به شکل آمونیوم منجر به افزایش معنی‌دار غلظت آهن و منگنز نسبت به تیمار بدون آمونیوم شده است. در حالی که در رقم کالیفرنیا کاربرد ۳۰ درصد کل نیتروژن محلول غذایی به صورت آمونیوم منجر به افزایش معنی‌دار غلظت منگنز و کاهش معنی‌دار غلظت آهن نسبت به تیمار بدون آمونیوم شد. نتایج تجزیه برگ نشان داد در هر دو رقم ترسا و کالیفرنیا کاربرد بازدارنده DMPP در نسبت ۱۵:۸۵ آمونیوم به نیترات محلول غذایی منجر به کاهش معنی‌دار غلظت آهن نسبت به کاربرد این نسبت بدون بازدارنده شد. همچنین در رقم ترسا کاربرد بازدارنده DMPP در هر دو نسبت ۱۵:۸۵ و ۳۰:۷۰ آمونیوم به نیترات محلول غذایی منجر به افزایش معنی‌دار غلظت منگنز نسبت به کاربرد این نسبت‌ها بدون بازدارنده شد در حالی که در رقم کالیفرنیا اثر معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۵).

بر مبنای نتایج حاصله رقم کاهو تأثیر معنی‌داری بر غلظت روی

بخش هوایی نداشت ولی نسبت آمونیوم به نیترات و برهمکنش آن با رقم کاهو در سطح ۱ درصد آماری بر غلظت روی بخش هوایی معنی‌دار شد. همچنین تأثیر رقم کاهو و برهمکنش نسبت آمونیوم به نیترات با رقم کاهو بر غلظت مس بخش هوایی در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد ولی اثر نسبت آمونیوم به نیترات بر غلظت مس بخش هوایی در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). در رقم ترسا استفاده از نسبت ۱۵:۸۵ آمونیوم به نیترات محلول غذایی منجر به افزایش معنی‌دار غلظت روی نسبت به تیمار بدون آمونیوم و غلظت مس نسبت به کاربرد سطح ۳۰:۷۰ آمونیوم به نیترات محلول غذایی شد. در رقم کالیفرنیا کاربرد ۳۰ درصد کل نیتروژن محلول غذایی به شکل آمونیوم تأثیر معنی‌داری بر غلظت روی نسبت به تیمار بدون آمونیوم نداشت اما منجر به افزایش معنی‌دار غلظت مس نسبت به کاربرد نسبت ۱۵:۸۵ آمونیوم به نیترات محلول غذایی شد. در رقم ترسا کاربرد بازدارنده DMPP در نسبت ۳۰:۷۰ آمونیوم به نیترات محلول غذایی منجر به افزایش معنی‌دار غلظت روی نسبت به کاربرد این نسبت بدون بازدارنده شد. در حالی که در همین رقم تفاوت معنی‌داری بین روی بخش هوایی در کاهوی تغذیه شده با نسبت ۳۰:۷۰ آمونیوم به نیترات به همراه بازدارنده DMPP و نسبت ۱۵:۸۵ آمونیوم به نیترات با و بدون بازدارنده DMPP مشاهده نشد. در رقم کالیفرنیا کاربرد نسبت‌های ۱۵:۸۵ و ۳۰:۷۰ آمونیوم به نیترات به همراه بازدارنده DMPP تأثیر معنی‌داری بر غلظت روی بخش هوایی در مقایسه با کاربرد این نسبت‌ها بدون بازدارنده نداشت. همچنین در هر دو رقم ترسا و کالیفرنیا غلظت مس بخش هوایی تحت تأثیر کاربرد نسبت‌های ۱۵:۸۵ و ۳۰:۷۰ آمونیوم به نیترات محلول غذایی به همراه بازدارنده DMPP در مقایسه با کاربرد این نسبت‌ها بدون بازدارنده قرار نگرفت (جدول ۵).

براساس نتایج این تحقیق در رقم ترسا کاربرد ۱۵ درصد کل نیتروژن به شکل آمونیوم (بدون کاربرد بازدارنده DMPP) منجر به افزایش معنی‌دار غلظت آهن، منگنز و روی بخش هوایی در مقایسه با عدم کاربرد آمونیوم شد (جدول ۵). افزایش غلظت عناصر غذایی کم مصرف در نتیجه تغذیه آمونیومی را می‌توان به کاهش pH منطقه اطراف ریشه در نتیجه جذب آمونیوم نسبت داد. با کاربرد آمونیوم، جذب آنیون‌ها نسبت به کاتیونها افزایش یافته و بنابراین پروتون از ریشه برای موازنه بار آزاد می‌شود که این امر منجر به اسیدی شدن محیط ریشه می‌شود (۲۰). پژوهش‌های انجام شده در این زمینه حاکی است کاربرد آمونیوم در محلول‌های غذایی مورد استفاده در هیدروپونیک تا حد مشخصی، منجر به افزایش غلظت عناصر کم مصرف کاتیونی در گیاه شده است. در همین زمینه کیانی و همکاران (۱۶) عنوان کردند افزایش نسبت آمونیوم به نیترات محلول غذایی تا ۵۰ درصد کل نیتروژن منجر به افزایش غلظت آهن، منگنز، روی و مس در قسمت‌های مختلف گل رز شد. مطالعه روستا (۲۴) در مورد کاهو و اسفناج تغذیه شده با نیترات یا آمونیوم در سیستم هیدروپونیک نشان داد تغذیه با آمونیوم باعث افزایش مقدار آهن در بخش هوایی کاهو شد که با نتایج این پژوهش همسو است. سرنا و همکاران (۲۹) گزارش کردند افزایش آمونیوم باعث افزایش آهن و مس و کاهش روی و منگنز برگ پرتقال شد. کلارک (۸) نشان داد با افزایش آمونیوم غلظت‌های آهن، روی، منگنز و مس در آزالیا افزایش یافتند که با نتایج این بررسی هماهنگی دارد.

بر مبنای نتایج این پژوهش عرضه ۱۵ درصد از نیتروژن کل به شکل آمونیوم منجر به بهبود تغذیه فسفر، آهن، منگنز و روی کاهو در رقم ترسا شد. همچنین کاربرد ۳۰ درصد کل نیتروژن به شکل آمونیوم در رقم کالیفرنیا باعث بهبود تغذیه فسفر و منگنز آن گردید. این افزایش منجر به بهبود اثرات مفید تغذیه‌ای کاهو در انسان می گردد. از دیدگاه تغذیه‌ای میوه‌ها و سبزیها در تامین ۱۱ درصد فسفر، ۱۳ درصد آهن، ۷ درصد روی، ۲۲ درصد مس و ۲۱ درصد منگنز در رژیم غذایی انسان موثر هستند (۱۸).

نتیجه‌گیری

بر مبنای نتایج این پژوهش بیشترین وزن تر بخش هوایی کاهو در رقم ترسا (۳۳۴ گرم بر گلدان) با کاربرد کل نیتروژن به شکل نیترات و در رقم کالیفرنیا (۴۳۵ گرم بر گلدان) با کاربرد نسبت ۱۵ به ۸۵ آمونیوم به نیترات حاصل شد. این مسئله نشان‌دهنده آنست که رقم کالیفرنیا یک رقم کارا در تغذیه آمونیومی و رقم ترسا یک رقم غیرکارا در تغذیه آمونیومی است. بر این مبنا کاربرد نسبت‌های ۰:۱۰۰ و ۱۵:۸۵ آمونیوم به نیترات به‌ترتیب در ارقام ترسا و کالیفرنیا برای تولید در شرایط کشت بدون خاک در شرایط مشابه این پژوهش قابل توصیه است. بر اساس نتایج این پژوهش کاربرد بازدارنده نیترات‌سازی DMPP در هر دو نسبت ۱۵:۸۵ و ۳۰:۷۰ آمونیوم به نیترات محلول غذایی تأثیر معنی‌داری بر وزن تر ریشه و وزن خشک و تر بخش هوایی هر دو رقم کاهو نداشت. بنابراین بکارگیری کودهای آمونیومی حاوی بازدارنده‌های نیترات‌سازی در کشت بدون خاک ضروری نیست.

منابع

1- Abd-Elmoniem E.M., Abou-Hadid A.F., El-Shinawy M.Z., El-Beltagy A.S., and Eissa A.M. 1996. Effect of nitrogen form on lettuce plant grown in hydroponic system. Acta Horticulture 434: 47-52.

2- Ali Ehyayi M., and Behbehanizadeh A.A. 1993. Methods of Soil Analysis. Soil and Water Research Institute Press, Tehran.
3- Arzani A. 2007. Commercial and Home Hydroponics. Isfahan University of Technology Press, Isfahan.
4- Bagheri M.H., and Roosta H.R. 2013. Effect of nitrogen form and oxygen levels in nutrient solution on growth and some macronutrients in hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* cv. Great leak). Journal of Horticultural Science 27: 148-157. (In Persian with English abstract)
5- Behbahani Motlaq F., Rabii V., Taheri M., Vaezi A., and Khademi R. 2012. Effect of ammonium: nitrate ratio on growth and nitrogen uptake and potassium: sodium ratio in two olive varieties in saline conditions. Seed and Plant Production 28: 313-329. (In Persian with English abstract)
6- Beritto D.T., and Kronzucker H.J. 2002. NH_4^+ toxicity in higher plants. Journal of Plant Physiology, 159:567-584.
7- Chen W., Luo J.K., and Shen Q.R. 2005. Effect of NH_4^+-N/NO_3^--N ratios on growth and some physiological parameters of Chinese cabbages cultivars. Pedosphere 15: 310-318.
8- Clark M.B., Mills H.A., Robacker C.D., and Latimer J.G. 2003. Influence of nitrate: ammonium ratios on growth and elemental concentration in two azalea cultivars. Journal of Plant Nutrition 26: 2503-2520.
9- Dekreij C., Voogt W., and Baas R. 2003. Nutrient solutions and water quality for soilless cultures. Research Station for Floriculture and Greenhouse Vegetables. Report, No. 196.
10- Emami A. 1996. Methods of Plant Analysis. Soil and Water Research Institute Press, Tehran.
11- Errebhi M., and Wilcox G.E. 1990. Plant species response to ammonium-nitrate concentration ratios. Journal of Plant Nutrition 13: 1017-1029.
12- Heberer J.A., and Below F.E. 1989. Mixed nitrogen nutrition and productivity of wheat grown in hydroponics. Annals of Botany 63: 643-649.
13- Helali S.M., Nebli H., Kaddour R., Mahmoundi H., Lachaal M., and Ouerghi Z. 2010. Influence of nitrate-ammonium on growth and nutrition of *Arabidopsis thaliana*. Plant and Soil 336: 65-74.
14- Kafkafi U. 1990. Root temperature, concentration and the ratio NO_3/NH_4 effect on the plant development. Journal of Plant Nutrition 13: 1291-1306.
15- Kane C.D., Jasoni R.L., Peffley E.P., Thompson L.D., Green C.J., Pare P., and Tissue D. 2006. Nutrient solution and solution pH influences on onion growth and mineral content. Journal of Plant Nutrition 29: 375-390.
16- Kiani Sh., Malakouti M.J., Tabatabaei S.J., and Kafi M. 2009. Influence of different NH_4^+/NO_3^- ratios and calcium levels on growth, nutrients concentration and quality of rose flower. Iranian Journal of Soil Research 23: 23-33. (In Persian with English abstract)
17- Kotsiras A., Olympios C.M., Drosopoulos J., and Passam H.C. 2002. Effect of nitrogen form and concentration on the distribution of ions within cucumber fruit. Journal of American Society for Horticultural Science 95: 175-183.
18- Levander O.A. 1990. Fruit and vegetable contributions to dietary mineral intake in human health and disease. HortScience 25: 1486-1488.
19- Mahlangu R.I.S., Maboko M.M., Sivakumar D., Soundy P., and Jifon J. 2016. Lettuce (*Lactuca sativa* L.) growth, yield and quality response to nitrogen fertilization in a non-circulating hydroponic system. Journal of Plant Nutrition 39: 1766-1775.
20- Marschner P. 2012. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, London.
21- Najafi N., Parsazadeh M., Tabatabaei S.J., and Oustan Sh. 2010. Effects of nitrogen form and pH of nutrient solution on the uptake and concentrations of potassium, calcium, magnesium and sodium in root and shoot of spinach plant. Water and Soil Science 20: 111-131. (In Persian with English abstract)
22- Pasda G., Hahndel R., and Zerulla W. 2001. Effect of fertilizers with the new nitrification inhibitor DMPP (3, 4-dimethylpyrazole phosphate) on yield and quality of agricultural and horticultural crops. Biology and Fertility of Soils 34: 85-97.
23- Ramos L., Bettin A., Herrada B.M.P., Arenas T.L., and Becker S.J. 2013. Effects of nitrogen form and application rates on the growth of petunia and nitrogen content in the substrate. Communications in Soil Science and Plant Analysis 44: 473-479.
24- Roosta H.R. 2010. The comparison of ammonium or nitrate-grown lettuce and spinach in a hydroponic system. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture 1: 57-64. (In Persian with English abstract)
25- Roosta H.R., and Schjoerring J.K. 2008. Root carbon enrichment alleviates ammonium toxicity in cucumber plants. Journal of Plant Nutrition 31: 941-958.
26- Rothstein D.E., and Cregg B.M. 2005. Effects of nitrogen form on nutrient uptake and physiology of Fraser fir (*Abies fraseri*). Forest Ecology and Management 219: 69-80.
27- Savvas D., Passam H.C., Olympios C., Nasi E., Moustaka E., Mantzos N., and Barouchas P. 2006. Effects of ammonium nitrogen on lettuce grown on pumice in a closed hydroponic system. Journal of Horticultural Science 41: 1667-1673.
28- Schortemeyer M., Stamp P., and Feil B. 1997. Ammonium tolerance and carbohydrate status in maize cultivars. Annals of Botany 79: 25-30.
29- Serna M.D., Borras R., Legaz F., and Millo E. P. 1992. The influence of nitrogen concentration and

ammonium/nitrate ratio on N-uptake, mineral composition and yield of citrus. Plant and Soil 147: 13-23.

30- Tabatabaei S.J., Fatemi L., and Fallahi E. 2006. Effect of ammonium: nitrate ratio on yield, calcium concentration, and photosynthesis rate in strawberry. Journal of Plant Nutrition 29: 1273-1285.

31- Wang B., and Shen Q.R. 2011. NH_4^+-N/NO_3^--N ratios on growth and NO_3^--N remobilization in root vacuoles and cytoplasm of lettuce genotypes. Canadian Journal of Plant Science 91: 411-417.

32- Wang X., and Below F.E. 1992. Root growth, nitrogen uptake, and tillering of wheat induced by mixed-nitrogen source. Crop Science 32: 997-1002.

33- Wang X.T., and Below F.E. 1998. Accumulation and partitioning of mineral nutrients in wheat as influenced by nitrogen form. Journal of Plant Nutrition 21: 49-61.

34- Wen X., Ikeda H., and Oda M. 2000. The absorption, translocation, and assimilation of urea nitrate or ammonium in tomato plant at different plant growth stages in hydroponic culture. Scientia Horticulturae 84: 275-283.

35- Woodson W.R., and Boodley J.W. 1982. Effects of nitrogen form and potassium concentration on growth, flowering and nitrogen utilization of greenhouse roses. Journal of American Society for Horticultural Science 107: 275-278.

36- Zerulla W., Barth T., Dressel J., Von Locquenghien K.E.K.H., Pasda G., Radle M., and Wissemeier A.H. 2001. 3, 4- Dimethylpyrazole phosphate (DMPP) - a new nitrification inhibitor for agriculture and horticulture. Biology and Fertility of Soils 34: 79-84.

Journal of Horticultural Science
Vol. 34, No.1, Spring 2020, P. 119-130
ISSN: 2008 - 4730

نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹، ص. ۱۳۰-۱۱۹
شاپا: ۴۷۳۰ - ۲۰۰۸

The Effect of Nitrogen Form on Chemical Composition and Yield of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) Cultivars in Soilless Culture

A. Beigi Harchegani[1]- Sh. Kiani[2]*- A.R. Hosseinpur[3]
Received: 26-06-2019
Accepted: 03-03-2020

Introduction: Ammonium (NH_4^+) and nitrate (NO_3^-) ions are the two main forms of nitrogen (N) for plants. But, they influence differently on growth and chemical composition of plants. The effect of N form on plant growth depends on plant species, development stage of plant, pH, and temperature, ratio of NH_4^+ /NO_3- and nitrogen level of nutrient solution. Lettuce is one of the leafy vegetables that has been cultivated in soilless culture in many greenhouses in the world. This plant can respond well to NH_4^+ nutrition, but the information about optimum NH_4^+/NO_3^- ratio in the nutrient solution and respond of lettuce cultivars to partial replacement of NO_3^- by NH_4^+ is scarce. Application of nitrification inhibitors such as 3, 4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) with ammonium fertilizers lead to high N-use efficiency as well as reducing denitrification and leaching losses. Nitrification inhibitors are compounds that delay the biological oxidation of ammonium to nitrite by depressing the activity of *Nitrosomonas* bacteria. This study was conducted to elucidate the effect of nitrogen form (N-NO_3^- and N-NH_4^+) and the use of a nitrification inhibitor (DMPP) on chemical composition and yield of lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivars in research greenhouse of Shahrekord University.

Materials and Methods: A factorial experiment using completely randomized design was carried out with two factors of NH_4^+/NO_3^- ratio (0:100, 15:85 with and without DMPP, 30:70 with and without DMPP) and lettuce cultivars (Teresa and California) with three replications under hydroponic conditions. Lettuce plants were grown in 1.7 L plastic pots (one plant per pot) and the substrate used was mixture of cocopeat + perlite with ratio of 2:1 (v/v). Different nutrient solutions were applied by hand two or three times per week to obtain a leaching fraction of 5 to 20%. After seven weeks plants were harvested, fresh weight of shoots and roots were determined and plants were dried in an oven at 60 °C. Then, dry weight of shoots and roots were measured and plants were ground for nutrient analysis including of P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn and Cu.

Results and Discussion: The results showed that application of nutrient solution with NH_4^+/NO_3^- ratio of 30:70 in California cultivar and 15:85 in Teresa cultivar led to significant increase shoot P concentration compared with the 0:100 of NH_4^+/NO_3^- ratio (40 and 13%, respectively). This was due to synergistic effect of NH_4^+ on the uptake of P by roots. In both Teresa and California cultivars, replacing 30% NO_3^- in the nutrient solution with NH_4^+ resulted to significant decrease shoot K concentration (27.3 and 14.8% in Teresa and California cultivars, respectively) as well as shoot Ca concentration (42.0 and 31.1% in Teresa and California cultivars, respectively) compared with the 0:100 of NH_4^+/NO_3^- ratio. This decrease is related to antagonistic effects of NH_4^+ on the uptake of K and Mg by roots. In Teresa cultivar, increasing the NH_4^+/NO_3^- ratio to 15:85 led to the meaningful increase of shoot Fe (97%), Mn (68%) and Zn (54%) concentration in comparison with 0:100 of NH_4^+/NO_3^- ratio. But, in California cultivar shoot Mn concentration increased (65%) with 30% replacement of NO_3^- by NH_4^+. This means that changing NH_4^+/NO_3^- ratio in the nutrient solution is an excellent approach to control the relative uptake of cations and anions by the plant. The greatest quantity of shoot fresh weight in Teresa (334 g pot^{-1}) and California (435 g pot^{-1}) cultivars were obtained from 0:100 and 15:85 of NH_4^+/NO_3^- ratios, respectively. The current study indicates that the lettuce cultivars respond differently to the form of N supply. There is a genotypic variability in the ability of plants to supply carbon skeletons for NH_4^+ assimilation in the roots. Thus, California cultivar is a genotype sensitive to enhanced ammonium nutrition and Teresa cultivar is a genotype insensitive to enhanced ammonium nutrition. Increasing the NH_4^+/NO_3^- ratio to 30:70 led to the meaningful decrease (42%) of root fresh weight in comparison with nutrient solution without NH_4^+. Application of nitrification inhibitor DMPP with the NH_4^+/NO_3^- ratios of 15:85 and 30:70 had not significant effect on the shoot fresh and dry weight as well as the concentration of P, K and Cu in the shoot of both lettuce cultivars in comparison to these ratios without DMPP.

1, 2 and 3- Former M.Sc. Student, Associate Professor and Professor of Soil Science and Engineering, College of Agriculture, ShahreKord University, respectively.
(*- Corresponding Author Email: shkiani2002@yahoo.com)

Conclusion: The results suggest that the NH_4^+/NO_3^- ratios of 0:100 and 15:85 can be recommended for production of Teresa and California lettuce cultivars under the conditions of the present study, respectively.

Keywords: Ammonium to nitrate ratio, Lettuce cultivars, Nutrients